

## KARAKTERISASI GEOKIMIA ORGANIK BATUBARA SAMARINDA, KALIMANTAN TIMUR

### ORGANIC GEOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF COAL FROM SAMARINDA, EAST KALIMATAN

Nur Ita Ulfaniyah<sup>1</sup>, R. Y. Perry Burhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Magister Kimia, FMIPA, ITS Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, FMIPA, ITS Surabaya, Indonesia

Email: [nuritaulfaniyah@gmail.com](mailto:nuritaulfaniyah@gmail.com)

#### Abstrak

Sampel batubara Samarinda dianalisis berdasarkan aspek geokimia organik melalui profil senyawa biomarka fraksi hidrokarbon alifatik, aromatik, ketondan asam. Sampel batubara di ekstraksi terlebih dahulu dengan aseton:kloroform:metanol (47%: 23%: 30% v/v), selanjutnya difraksinasi menggunakan metode kromatografi kolom dan Kromatografi Lapis Tipis Preparatif (KLTP) untuk memperoleh fraksi alifatik, aromatik, dan keton. Karakterisasi senyawa biomarka batubara dilakukan menggunakan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (KG-SM) Shimadzu QP2010S. Teridentifikasinya senyawa *n*-alkana dan metil keton yang didominasi oleh karbon rantai panjang menunjukkan bahwa masukan bahan organik pembentuk batubara berasal dari tanaman tingkat tinggi. Hal tersebut juga diperkuat dengan teridentifikasinya senyawa kadalena, retena, pisen, dan simonelit pada fraksi aromatik. Senyawa-senyawa tersebut merupakan penanda bagi tanaman *Dipterocarpaceae* famili Angiospermae dan conifer famili Gimnospermae yang terbentuk pada zaman *Miosen*. Senyawa perilena dalam batubara Samarinda merupakan indikator bahwa batubara ini terbentuk pada kondisi lingkungan pengendapan reduktif. Data fisik batubara yang meliputi data energi dan proksimat menunjukkan bahwa batubara Samarinda, Kalimantan Timur adalah batubara jenis sub-bituminus. Berdasarkan hal tersebut, maka batubara ini berpotensi untuk dicairkan pada proses pemanfaatannya.

Kata kunci: batubara Samarinda, batubara miosen, senyawa biomarka

#### Abstract

*Coal of Samarinda were analysed by organic geochemical aspects of biomarker compounds profile through the fraction of aliphatic, aromatic, ketone, and acid. This sample were extracted with acetone: chloroform: methanol solvent (47:23:30 vol.%), then fractionated by column chromatography and preparative thin layer chromatography to obtain the fraction of aliphatic, aromatic, ketone and acid. Biomarker compound of sample were characterized by Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC-MS). Biomarker compounds in the aliphatic fraction include: n-alkane (C<sub>7</sub>-C<sub>33</sub>), branched alkane, alkyl sikloalkane (C<sub>7</sub>-C<sub>8</sub>), transkadinane dan tetrasiklik terpene. In aromatic fraction, there are alkyl benzene, kadalene, perilene, kalamenene, retene, pisen, alkyl fenantrene, simonelit dan steren (C<sub>19</sub>-C<sub>21</sub>). n-alkan-2-on (C<sub>5</sub>-C<sub>25</sub>) ketone fraction and n-metil ester (C<sub>7</sub>-C<sub>13</sub>) and unsaturated n-alkanoat in acid fraction. Composition of those hydrocarbon indicate that material organic of coal from terrestrial in specially from Gimnospermae and Angiospermae and bacteria on an oxide condition. Analyst of biomarker compound can indicate that its coal is in matured coal. Coal of Samarinda is Miosene coal. Based on this data, coal of Samarinda potential to be coal liquefaction product.*

**Keywords:** coal of Samarinda, miosene coal, biomarker compound

## PENDAHULUAN

Ketersediaan batubara sebagai salah satu sumber energi di Indonesia sangat melimpah yaitu sebesar 104,8 miliar ton, dengan cadangan sebesar 20,98 miliar ton (Girianna, 2012). Eksplorasi batubara sebagai bahan bakar masih terbatas dalam bentuk bongkahan, seperti pada PLTU. Pengembangan lebih lanjut terhadap batubara masih sangat dimungkinkan, meskipun batubara termasuk energi tak terbarukan. Salah satu eksplorasi yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan batubara sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak melalui proses *liquefaction* atau *gasification* (Wicks, 2005).

Salah satu cekungan batubara terbesar terdapat pada cekungan Kutai, Kalimantan Timur. Cekungan Kutai memiliki batubara dengan kandungan panas tinggi (*high rank*) sekitar 5800–7100 kkal/kg (Nugroho, 2006). Cekungan ini dibagi menjadi beberapa formasi berdasarkan waktu pembentukannya, yaitu formasi Pamaluan, Belulu, Pulau Balang, Balikpapan, dan Kampung Baru (Supriatna *et al.*, 1995). Setiap formasi mengandung batubara dengan karakteristik yang berbeda pula (Betchel *et al.*, 2002).

Batubara memiliki karakteristik yang berbeda-beda berdasarkan lingkungan, masukan bahan organik dan waktu geologi pengendapan. Batubara dengan karakteristik yang berbeda akan memiliki

kualitas yang berbeda pula. Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan informasi mengenai karakteristik suatu batubara untuk kepentingan proses eksplorasi, agar diperoleh produk yang maksimal di setiap pemanfaatannya. Contohnya,

penggunaan batubara sebagai sumber energi pada PLTU (dalam bentuk padat) dan pencairan atau *gasification* memerlukan jenis batubara dengan karakteristik yang berbeda. Pada keperluan PLTU, digunakan batubara dengan nilai kalori tinggi (*highrank*), sedangkan pada proses pencairan atau *gasification* digunakan batubara dengan nilai reflaktan vitrinit berkisar 0.50-1.35% (*low rank*), sebab nilai tersebut merupakan derajat kematangan yang cukup untuk dapat dikonversi menjadi minyak dan gas (Sukandarrumidi, 1995). Identifikasi karakteristik batubara dapat dilakukan melalui karakter bawaan dari asal muasal batubara, antara lain berupa senyawa kimia yang tidak banyak mengalami perubahan atau tidak mengalami perubahan selama pembentukan batubara. Senyawa-senyawa kimia tersebut khas dan dikenal dengan senyawa biomarka. Karakteristik batubara salah satunya dapat diidentifikasi melalui analisis biomarka (Philp, 1985).

Analisis mengenai biomarka suatu batubara telah dilakukan sebelumnya oleh

Widodo, dkk., (2009), terhadap kandungan maseral dan senyawa aromatik batubara *Miosen* dari cekungan Kutai, Delta Mahakam, Kalimantan Timur. Kandungan senyawa aromatik pada sampel batubara tersebut didominasi oleh senyawa kadalena dan turunan pisena yang menunjukkan bahwa batubara tersebut berasal dari tanaman tingkat tinggi *Gymnospermae* famili konifer dan *Dipterocarpaceae*, serta memiliki nilai reflaktan vitrinit antara 0,36-0,5%, yang menunjukkan bahwa batubara tersebut merupakan batubara lignit hingga sub-bituminus (*low rank*). Kedua jenis batubara tersebut merupakan batubara dengan kandungan kalori berkisar 4.113-5.403 kkal/kg. Dwianto *et al.*, (2013) melaporkan bahwa maseral batubara Lignit *Miosen* dari Ritan, formasi Balikpapan, cekungan Kutai, Kalimantan Timur, yang dominan adalah maseral huminit (27,9-78,7%) dibandingkan dengan maseral inertinit (6,5-12,2%) dan maseral liptinit (19,9-31,5%). Pengukuran reflaktan vitrinit pada sampel batubara menghasilkan nilai pada range 0,235-0,354%, yang menunjukkan bahwa batubara tersebut merupakan batubara lignit (*low rank*). Berdasarkan dua penelitian tersebut, diketahui bahwa batubara yang terendapkan pada daerah yang berbeda (walau dalam satu cekungan dan waktu geologi pembentukan yang sama) akan dihasilkan jenis batubara dengan tingkat

kematangan dan masukan bahan organik yang berbeda pula.

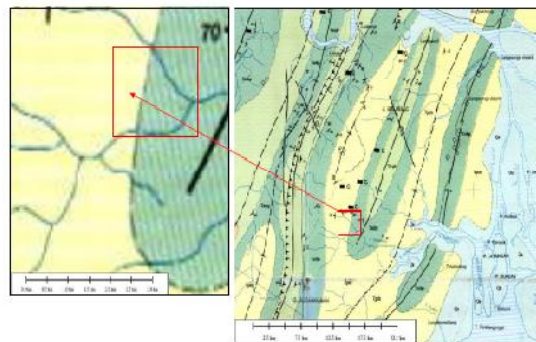
Beragamnya latar belakang pembentukan batubara dari asal muasalnya akan memberikan informasi yang khas terhadap jenis batubara. Batubara Samarinda yang merupakan batubara *Miosen* dan terendapkan pada formasi Balikpapan, cekungan Kutai dapat memiliki karakteristik yang sama bahkan berbeda dengan batubara *Miosen* cekungan Kutai lainnya. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan analisis kandungan senyawa-senyawa organik (biomarka) batubara untuk mengetahui karakteristik batubara yang meliputi tingkat kematangan, masukan bahan organik, senyawa asal pembentuk (prekursor), dan lingkungan pengendapan batubara (Philp, 1985; Betchel *et al*, 2002). Belum adanya identifikasi karakteristik batubara Samarinda, Kalimantan Timur menjadi permasalahan dalam pemahaman batubara tersebut untuk tujuan diversifikasi lebih lanjut. Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah menentukan karakteristik batubara berdasarkan kandungan senyawa-senyawa biomarka dalam batubara tersebut guna memperoleh informasi mengenai karakteristik serta gambaran potensi suatu batubara berdasarkan kualitasnya untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi secara maksimal.

## METODE PENELITIAN

*n*-heksana (Merck, 1043672500), diklorometana (Merck, 1070202500), metanol (Merck, 1060092500), kloroform (Merck, 1070242500), dietileter (Merck, 1009215000) dan aseton (Merck, 1096002500) diperoleh secara komersial dan selanjutnya dilakukan redistilasi menurut proses pemurnian pelarut organik. Pemisahan fraksi senyawa dilakukan menggunakan kromatografi kolom silika gel dan KLT silika gel 60 F<sub>254</sub> (Merck, 1.05554.0001) dengan standar DBA (1,2,5,6-dibenzantrasen) dan lupena serta lampu UV ( $\lambda$  254 dan 365 nm). Hasil pemisahan komponen menggunakan kromatografi gas kemudian dianalisis dengan spektrometer massa Shimadzu Q2010.

### Fraksinasi Batubara Samarinda

Sampel batubara yang berasal dari Samarinda Kalimantan Timur (Gambar 1) dihaluskan hingga berukuran 120 mesh, selanjutnya diekstrak menggunakan metode sokhletasi dengan pelarut aseton : kloroform : metanol (47:23:30) selama 48 jam pada suhu 40°C. Ekstrak organik yang diperoleh selanjutnya difraksinasi berdasarkan kepolarannya menggunakan kromatografi kolom silika gel yang telah diimpregnasi dengan KOH dalam isopropanol untuk memisahkan fraksi netral, asam, dan polar menggunakan eluen dietileter, asam format 2% dalam dietileter dan kloroform:metanol:air (65:25:4) secara berturut-turut.



**Gambar 1.** Peta geologi kota Samarinda, Kalimantan Timur

Fraksi netral selanjutnya difraksinasi kembali menggunakan metode KLT preparatif untuk memisahkan fraksi hidrokarbon total dengan fraksi alkohol dan keton dengan eluen diklorometana. Pemisahan fraksi alifatik dan aromatik pada sampel batubara ini dilakukan dengan cara difraksinasi kembali pada fraksi hidrokarbon total menggunakan KLT preparatif dengan eluen *n*-heksana.

### Karakterisasi Batubara Samarinda

Fraksi alifatik, aromatic, dan keton dikarakterisasi menggunakan Shimadzu QP 2010 KG-SM dengan ionisasi (70 eV energy ionisasi). Kolom kapiler yang digunakan adalah RTX 5 MS (semi polar dengan ukuran kolom 0,25 mm id x 30 m x 0,25  $\mu$ m). Temperatur injektor diatur 290°C, sedangkan temperatur kolom pada KG diatur mulai dari 50°C – 290°C dengan kenaikan 10°C/menit. Gas helium (He) digunakan sebagai gas pembawa. Fasa diam yang digunakan adalah 5% difenil atau dimetil polisiloksan 95%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Fraksinasi Batubara Samarinda

Pada proses ekstraksi batubara Samarinda diperoleh ekstrak pekat berwarna coklat kehitaman sebanyak 108,44 gram dari 200 gram sampel yang digunakan (54,22% berat sampel). Ekstrak organik total pekat sebanyak 1.1728 gram yang diperoleh pada tahap ekstraksi difraksinasi dengan metode kolom silika gel, dan diperoleh fraksi netral, asam, dan polar sebanyak 0,5589 gram (47,65%), 0,3725 gram (31,76%) dan 0,2103 gram (17,93%) secara berturut-turut. Fraksi netral tersebut difraksinasi kembali dengan KLT preparatif hingga dihasilkan fraksi alifatik, aromatik dan keton sebanyak 0,0283; 0,0076 dan 0,0384 gram secara berturut-turut. Masing-masing fraksi tersebut selanjutnya dikarakterisasi menggunakan KG-SM.

### Senyawa Biomarka *n*-alkana Fraksi Alifatik Batubara Samarinda

Hasil analisis KG-SM terhadap senyawa *n*-alkana fraksi alifatik batubara Samarinda ditunjukkan oleh kromatogram yang tertera pada Gambar 2. Analisis tersebut dikemukakan dari hasil kromatogram total berdasarkan fragmentasi spesifik *m/z* 57 untuk senyawa biomarka *n*-alkana.

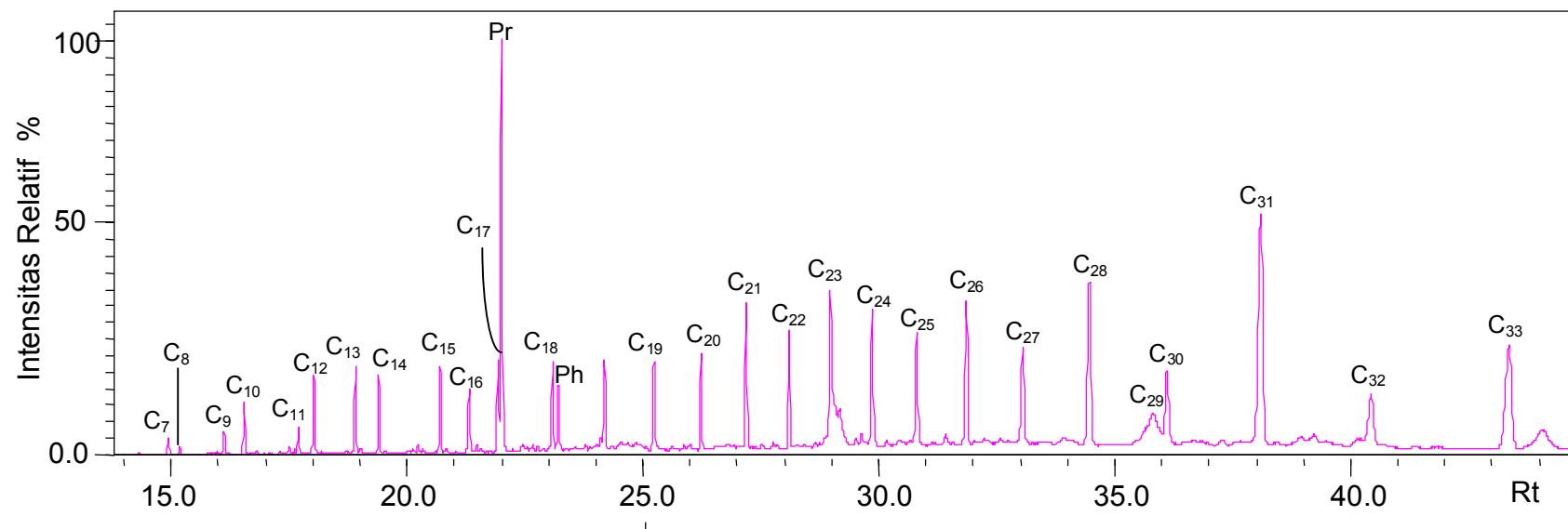
Berdasarkan kromatogram pada Gambar 2, distribusi *n*-alkana C<sub>7</sub>-C<sub>33</sub> pada fraksi alifatik batubara Samarinda teridentifikasi sebagai unimodal, yaitu

sebaran *n*-alkana hanya satu kelompok rantai panjang saja. Distribusi *n*-alkana rantai panjang, dengan C<sub>31</sub> sebagai puncak maksimum pada batubara ini memberikan informasi bahwa sumber bahan organik pada batubara tersebut berasal dari kutikula lilin tanaman tingkat tinggi (Logan and Eglinton, 1994; Stojanovic dan Zivotic, 2013). Data tersebut diperkuat dengan tingginya rasio pristana dan fitana (Pr/Ph) yang menunjukkan tingginya input tumbuhan vaskular. Hal itu dikarenakan senyawa isoprenoid pristan dan fitan secara umum bersumber dari fitil yang merupakan rantai samping dari klorofil tanaman tingkat tinggi (Schwarzbauer *et al.*, 2013).

Sebaran senyawa *n*-alkana juga dapat menunjukkan kematangan dari suatu sedimen. Pada batubara Samarinda Kalimantan Timur teridentifikasi *n*-alkana pada rentang C<sub>7</sub>-C<sub>33</sub> yang didominasi oleh karbon ganjil atas karbon genap, maka batubara tersebut merupakan sedimen muda (Schwarzbauer *et al.*, 2013).

### Senyawa Biomarka Fraksi Aromatik Batubara Samarinda

Hasil analisis KG-SM terhadap fraksi aromatik batubara Samarinda ditunjukkan oleh kromatogram yang tertera pada Gambar 3. Pada fraksi aromatik dilakukan ekstraksi terhadap spektrum massa *m/z* 91 untuk senyawa alkil benzena, *m/z* 159 untuk kalamenena, *m/z* 169 untuk kadalena, *m/z* 192 untuk alkil fenantrena,



**Gambar 2.** Fragmentogram  $m/z$  57 senyawa  $n$ -alkana, fraksi alifatik batubara Samarinda Kalimantan Timur. Program temperatur oven 50 °C (ditahan 5 menit), 50-290 °C (10 °C/menit), dan temperatur isothermal pada 290 °C selama 25 menit.

$m/z$  219 dan 233 untuk retena dan turunannya,  $m/z$  231 untuk sterana,  $m/z$  237 untuk senyawa simonelit,  $m/z$  252 untuk perilena serta  $m/z$  324 dan 342 untuk pisena dan turunannya.

Keberadaan senyawa-senyawa biomarka fraksi aromatik tersebut memberikan informasi bahwa tumbuhan tingkat tinggi merupakan masukan utama bahan organik sedimenter pembentuk batubara. Senyawa kadalena adalah senyawa yang dihasilkan selama proses diagenesis, dengan kerangka dasar kadinena maupun kadinol. Senyawa ini teridentifikasi senyawa perilena dalam batubara Samarinda Kalimantan Timur menunjukkan bahwa batubara ini terbentuk pada lingkungan pengendapan yang reduktif.

Pada batubara ini juga teridentifikasi senyawa alkil benzena yang mengindikasikan adanya kontribusi bakteri sebagai sumber bahan organik (Rodrigues *et al.*, 2005). Bakteri tersebut dimungkinkan ikut disaat tumbuhan tingkat tinggi telah menjadi lumpur pada proses pembentukan batubara.

#### **Senyawa Biomarka Fraksi Keton Batubara Samarinda**

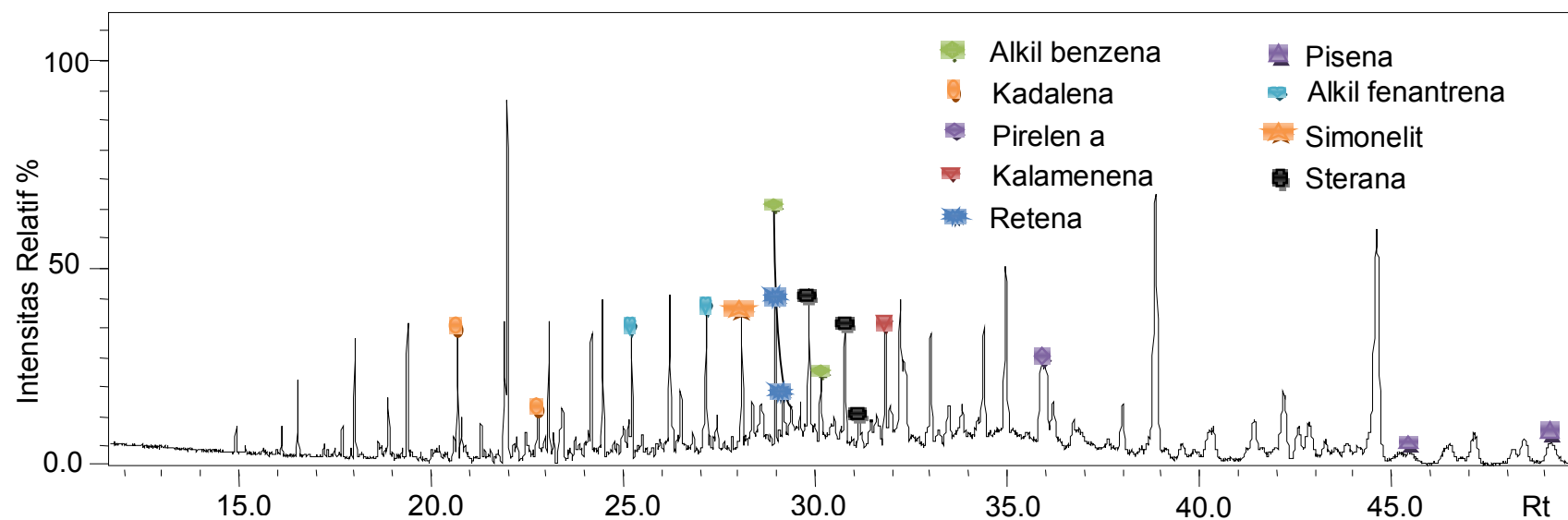
Hasil analisis KG-SM terhadap fraksi keton batubara Samarinda ditunjukkan oleh kromatogram pada Gambar 4. Senyawa biomarka ini diidentifikasi berdasarkan fragmentogram  $m/z$  57 yang merupakan senyawa  $n$ -metil keton.

secara umum diketahui berasal dari resin damar tanaman tingkat tinggi

Angiospermae famili *Dipterocarpaceae* dan *Cornaceae* (Greendwood *et al.*, 2006).

Keberadaan senyawa biomarka kalamenena, retena dan turunannya (2-metil retena), pisena dan turunannya (triaromatik pisena, dan tetraaromatik pisena), alkil fenantrena, simonelit, dan sterana merupakan senyawa penanda bagi tanaman tingkat tinggi Gimnospermae famili konifer pada zaman *Miosen* (Otto dan Simoneit, 2001; Stout, 1992; Strachan *et al.*, 1988; Stojanovic, 2013; Widodo, 2009). Senyawa-senyawa tersebut ditemukan dalam batubara Samarinda Kalimantan Timur yang mengartikan bahwa terdapat kontribusi tanaman tingkat tinggi Gimnospermae sebagai masukan bahan organik pembentuk batubara.

Senyawa perilena merupakan senyawa yang bersumber dari tanaman terrestrial pada lingkungan pengendapan *estuarine* dan *coastal*. Beberapa peneliti menyatakan bahwa keberadaan senyawa tersebut merupakan indikator bagi sedimen reduktif, karena perilena tidak stabil jika berada pada sumber bahan organik dalam kondisi oksik (Aizenshtat, 1973; Marynowski *et al.*, 2011).



**Gambar 3.** Kromatogram total senyawa hidrokarbon fraksi aromatik batubara Samarinda Kalimantan Timur. Program temperatur oven 50 °C (ditahan 5 menit), 50-290 °C (10 °C/menit), dan temperatur isothermal pada 290 °C selama 25 menit.



Analisis terhadap biomarka keton batubara Samarinda Kalimantan Timur, menunjukkan sebaran senyawa *n*-metil keton pada rentang  $C_5$ - $C_{25}$ , dan terdapat dominasi karbon ganjil atas karbon genap, meski tidak terlalu signifikan. Interpretasi tersebut menunjukkan bahwa terdapat pola yang sama dengan seri homolog senyawa *n*-alkana, sehingga dapat dikatakan bahwa senyawa *n*-metil keton pada batubara ini berasal dari prekursor yang sama dengan senyawa biomarka *n*-alkana. Hal ini dikarenakan, senyawa keton yang terdapat dalam batubara merupakan hasil oksidasi dari *n*-alkana pada posisi  $\beta$  atau melalui oksidasi asam lemak pada posisi  $\beta$  yang diikuti dengan dekarboksilasi (Teerman and Hwang, 1991; Cranwell *et al.*, 1987).

Berdasarkan hal tersebut, maka senyawa keton yang terdapat dalam batubara Samarinda Kalimantan Timur berasal dari oksidasi vegetasi kutikula lilin (Leif dan Simoneit, 1995).

#### **Aspek Geokimia Organik Batubara Samarinda**

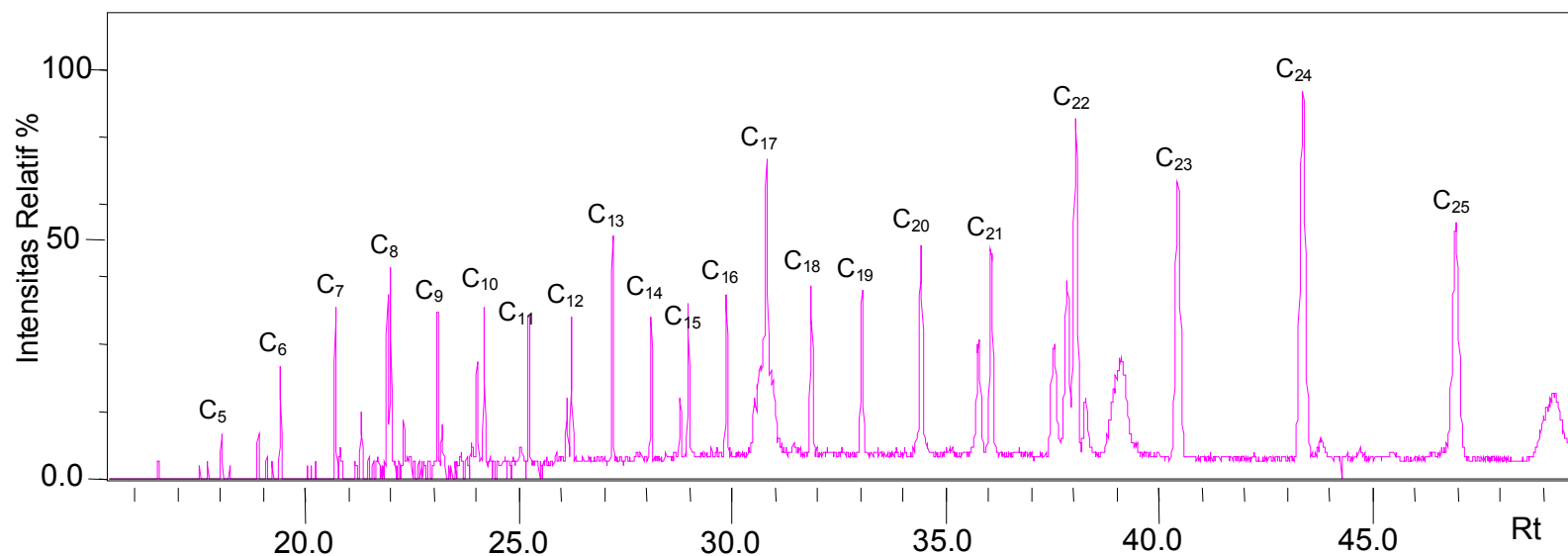
Analisis geologi terhadap batubara Samarinda menunjukkan bahwa batubara ini merupakan batubara formasi Balikpapan (cekungan Kutai Kalimantan Timur). Batubara pada formasi ini berumur *Miosen* tengah – *Miosen* akhir dan diendapkan pada lingkungan *delta plain*.

Lingkungan pengendapan tersebut merupakan lingkungan pengendapan batuan pada kondisi reduktif atau

karbonat (Djarmiko, 2005; Supriatna, *et al.*, 1995). Secara umum batubara pada era *Miosen* berasal dari tumbuhan tingkat tinggi daratan. Vegetasi yang dominan berkontribusi sebagai masukan bahan organik adalah Angiospermae famili *Dipterocarpaceae*, dan sedikit dari Gimnospermae (konifer) (Anggayana, 1996).

Kematangan batubara Samarinda Kalimantan Timur juga ditunjukkan oleh data energi batubara dan hasil analisis proksimat. Batubara ini memiliki nilai kalori sebesar 6.158 kkal/kg. Data mengenai kandungan air, abu, material yang mudah menguap dan karbon pada batubara ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa batubara Samarinda Kalimantan Timur masih memiliki kandungan karbon yang cukup rendah, serta kandungan air, dan material yang mudah menguap cukup tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa batubara tersebut merupakan batubara muda dan digolongkan sebagai batubara jenis sub-bituminus (Singh *et al.*, 2010).



**Gambar 4.** Fragmentogram  $m/z$  57 senyawa metil keton, fraksi keton batubara Samarinda Kalimantan Timur. Program temperatur oven 50 °C (ditahan 5 menit), 50-290 °C (10 °C/menit), dan temperatur isothermal pada 290 °C selama 25 menit.

**Tabel 1.** Analisa Proksimat Batubara Samarinda Kalimantan Timur

| Analisis Proksimat          | Kandungan dalam batubara (%) | Standart ASTM <i>coal rank</i> batubara sub-bituminus |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Air                         | 12,44                        | 11,7-23,4                                             |
| Abu                         | 31,42                        |                                                       |
| Material yang mudah menguap | 17,35                        | 38-47                                                 |
| Kandungan karbon            | 38,79                        | < 66                                                  |

## KESIMPULAN

Analisis biomarka pada batubara Samarinda Kalimantan Timur terhadap fraksi hidrokarbon alifatik, aromatik, dan keton memberikan informasi bahwa batubara ini merupakan batubara *Miosen* yang berasal dari tanaman tingkat tinggi Angiospermae dan Gimnospermae, serta terbentuk pada lingkungan pengendapan yang reduktif. Pada proses pembatubaraannya disisipi oleh bakteri sebagai kontributor pembentuk batubara.

Batubara Samarinda Kalimantan Timur merupakan batubara muda dengan nilai kalori sebesar 6.158 kkal/kg. Hal ini menunjukkan bahwa batubara ini merupakan batubara *low rank* jenis sub-bituminus, dan berpotensi untuk dicairkan dalam proses pemanfaatannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggayana K., 1996, *Mikroskopische und organisch-geochemische Untersuchungen an Kohlen aus Indonesien ein Beitrag zur Genese und Fazies verschiedener Kohlenbecken*. Dissertation. RWTH Aachen, Germany. p. 224.
- Aizenshtat, Z., 1973, Perylene and Its Geochemical Significance, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**: 559-567.
- Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Gratzner, R., Lücke, A., Püttmann, W., 2002, Parameters determining the carbon isotopic composition of coal and fossil wood in the Early Miocene Oberdorf lignite seam (Styrian Basin, Austria), *Organic Geochemistry*, **33**: 1001–1024.
- Cranwell, P.A., 1977, Organic geochemistry of Cam Loch (Sutherland) Sediments, *Chem. Geol.*, **20**: 205–221.
- Djarmiko, Y., 2005, Inventarisasi Batubara di Daerah Marginal Daerah Tabang dan Sekitarnya, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, *Kolokium Hasil Lapangan-DIM*. **28**: 1-10.
- Girriana, M., 2012, Percepatan Pembangunan Industri Gas Bumi, *Badan Perencanaan Pembangunan Nasional*, Laporan Akhir Kajian.
- Greenwood, P.F., Leenheer, J.A., McIntyre, C., Berwick, L. dan Franzmann, P.D., 2006, Bacterial Biomarkers Thermally Released from Dissolved Organic Matter, *Organic Geochemistry*, **37**: 597-609.

- Leif, R.N., and Simoneit, B.R.T., 1995, Ketones in Hydrothermal Petroleum and Sediments Extracts from Guaymas Basin, Gulf of California, *Organic Geochemistry*, **23**: 889-904.
- Logan G. A. and Eglinton G., 1994, "Biogeochemistry of the Miocene lacustrine deposit, at Clarkia, Northern Idaho, U.S.A.", *Organic Geochemistry*, **21**: 857-870.
- Marynowski, L., Szeleg, E., Jedrysek, M.O., Simoneit, B.R.T., 2011, Effects of weathering on organic matter: II. Fossil wood weathering and implications for organic geochemical and petrographic studies, *Organic Geochemistry*, **42**: 1076-1088.
- Nugroho, H., 2006, *Tinjauan Terhadap Infrastruktur Transportasi Batubara Kalimantan*. BAPPENAS, Edisi 03/th XI. Jakarta.
- Otto, A. dan Simoneit, B.R.T., 2001, Chemosystematics and Diagenesis of Terpenoids in Fossil Conifer Species and Sediment from the Eocene Zeitz Formation, Saxony, Germany, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **65**: 3505-3527.
- Philp, P.R., 1985, *Fossil Fuel Biomarkers: Application and Spectra*. New York: Elsevier.
- Rodrigues, D.C., Vasconellos, S.P., Alves, P.B., Nascimento, L.R., Abreu Filho, B.A., Oliveira, V.M., Manfio, G.P., Santos Neto, E.V. dan Marsaioli, A.J., 2005, Relationship Between Bacterium *Alicyclobacillus* spp.: Evidence from Brazilian Oils, *Organic Geochemistry*, **36**: 1443-1453.
- Schwarzbauer, J., Littke, R., Meier, R. and Strauss, H., 2013, Stable Carbon Isotope Ratios of Aliphatic Biomarkers in Late Palaeozoic Coals, *International Journal of Coal Geology*, **107**: 127-140.
- Singh P. K., Singh M.P., Singh A. K., Arora M., 2010, Petrographic Characteristics of Coal from The Lati Formation, Tarakan Basin, East Kalimantan, Indonesia, *Coal Geology*, **81**: 109-116.
- Stojanovic, K. and Zivotic, D., 2013, Comparative Study of Serbian Miocene Coals-Insights from Biomarker Composition, *International Journal of Coal Geology*, **107**: 3-23.
- Stout, S. A., 1992, Aliphatic and aromatic triterpenoid hydrocarbon in a tertiary angiospermous lignite, *Org. Geochem.*, **18**(2):51-66.
- Strachan, M.G., Alexander, R., Kagi, R.I., 1988, Trimethylnaphthalenes in Crude Oils and Sediments: Effects of Source and Maturity, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**: 1255-1264.
- Sukandarrumidi, 1995, *Batubara dan Gambut*, Gadjah Mada University Press., Yogyakarta.
- Supriatna S., Sukardi R., Rustandi E., 1995, *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung, Indonesia.
- Wicks, R., 2005, Sumber Daya Batubara, *Tinjauan Lengkap Mengenai Batubara*, World Coal Institute.
- Widodo. S., Bechtel, A., Anggayana, K., Puttmann, W., 2009, Reconstruction of Floral Changes During Deposition of The Miocene Embalut Coal from Kutai Basin, Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia by Use of Aromatic Hydrocarbon Composition and Stable Carbon Isotope Ratios of Organic Matter, *Organic Geochemistry*, **40**: 206-218.